

Рис. 4. Скорость вдоль соплового канала

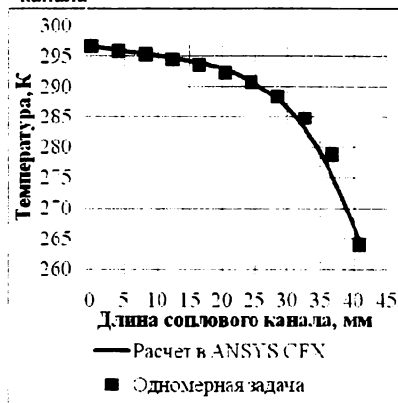


Рис. 6. Температура вдоль соплового канала

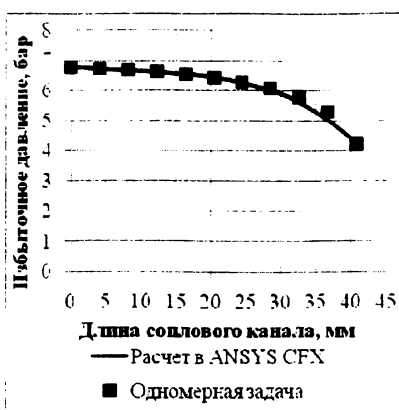


Рис. 5. Избыточное давление вдоль соплового канала

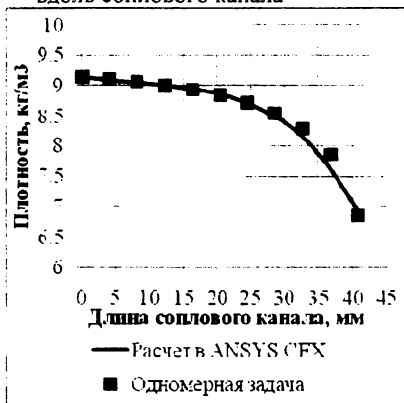


Рис. 7. Плотность вдоль соплового канала

Площади проходного сечения на входе и выходе из соплового канала:  $F_{\text{вх}} = 118,3 \text{ мм}^2$ ;  $F_{\text{вых}} = 49 \text{ мм}^2$ . Длина средней линии соплового канала равна 40,8 мм.

На рис. 4, 5, 6 и 7 представлены расчетные газодинамические параметры, полученные при помощи описанных выше математических моделей. Видно, что максимальная относительная разность в результатах расчетов не превышает 4 %.

В итоге можно сделать вывод о достаточно хорошем согласовании расчетных данных, полученных в газодинамическом пакете, с одномерной моделью газового потока. При этом занятое процессорное время на расчет задачи в газодинамическом пакете ANSYS CFX на персональном компьютере составило 43 часа.

Поэтому в случае инженерного расчета размеров стандартного многозаходного соплового аппарата более приемлемым вариантом является одномерный расчет по средним параметрам.

#### Библиографический список

- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. Гидродинамика. - М.: Наука. 1986. - 736 с.  
 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 440 с.  
 Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. - СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. 2001. - 108 с.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИАМЕТРА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В.И. ПАНФЕРОВ, Е.Ю. АНИСИМОВА, студ. А.А. АНГЕЛОВА

ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»

Теплоснабжение является крупной отраслью народного хозяйства. В условиях ограниченных топливных ресурсов рациональное и экономное расходование их представляет собой задачу большой государственной важности. Значительная роль в решении этой задачи отводится тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов как фактора, способствующего экономии топлива, а также обеспечивающего необходимый температурный режим в изолируемых системах и нормальные санитарно-гигиенические условия труда в производственных помещениях. Однако тепловая изоляция может полностью отвечать своему назначению только при условии правильного её выбора и расчета, основанного на требованиях, предъявляемых к ней со стороны производственного процесса.

Известно, что термическое сопротивление теплопередаче неизолированной трубы определяется по формуле:

$$R_L = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}; \quad (1)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от 1-ой среды к внутренней поверхности стенки трубы, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/(м·°C);  $d_1$ ,  $d_2$  – соответственно внутренний и наружный диаметры трубы, м.

Термическое сопротивление теплопередаче трубы с изоляцией определяется как:

$$R_L^{из} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_{из} d_{из}}; \quad (2)$$

где  $\alpha_{из}$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $d_{из}$  – внешний диаметр изоляции, м;  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м·°C).

Согласно анализу литературы [1, 2] при некотором значении наружного диаметра изоляции, называемом критическим  $d_{кр}$ , термическое сопротивление изоляционной оболочки минимально. Это значение критического диаметра  $d_{кр}$ , определяемое из условия  $dR_L / dd_{из} = 0$ , находится по формуле:

$$d_{из} = \frac{2\lambda_{из}}{\alpha_{из}}; \quad (3)$$

Зависимость  $R_L^{из} = f(d_{из})$  при  $\lambda_{из} = \text{const}$  и  $\alpha_{из} = \text{const}$  показана на рисунке.

При  $d_2 < d_{кр}$ , увеличение толщины тепловой изоляции от  $d_2$  до  $d_{кр}$  дает отрицательный эффект, так как при этом тепловые потери возрастают. Таким образом, нанесение тепловой изоляции не всегда приводит к сокращению теплопотерь трубы.

При  $d_2 > d_{кр}$  сопротивление переноса теплоты возрастает и только при некотором значении  $d_x$  оно становится равным сопротивлению теплопередачи неизолированной трубы.

Выясним, при каком  $d_x$  – внешнем диаметре неэффективной изоляции она вновь выйдет на такое же значение  $R_L$ . Этим будет определяться неэффективная толщина неэффективной изоляции.

Из условия поставленной выше задачи следует, что термические сопротивления теплопередаче для изолируемой и неизолированной трубы должны быть равны:

$$\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_x}{d_2} + \frac{1}{\alpha_{из} d_x} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}; \quad (4)$$

$$\frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_x}{d_2} + \frac{1}{\alpha_{из} d_x} - \frac{1}{\alpha_2 d_2} = 0; \quad (5)$$

Аналитическое решение данной задачи не представляется возможным. Необходимо пользоваться численными методами, например методом Ньютона [3]. Согласно этому методу итерационная формула имеет следующий вид:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}; \quad (6)$$

При правильном выборе начального приближения этот метод приведет к достоверным результатам.

Используя приведенный выше рисунок можно рекомендовать в качестве начального приближения взять следующее значение:

$$d_{x0} = d_2 + 2 \left( \frac{2\lambda_{из}}{d_{из}} - d_2 \right); \quad (7)$$

Для решения поставленной задачи использовалась программа для выполнения широкого круга математических задач MATLAB 7 [4].

Рассмотрим стальную трубу с наружным диаметром 45 мм теплоизолированную пеношамотным материалом [5]. Для нахождения коэффициента теплопроводности воспользуемся зависимостью для выбранного типа изоляции [5]:

$$\lambda_{из} = 0,28 + 0,00023t_{ср}; \quad (8)$$

Примем температуру окружающего воздуха  $t_{окр} = 0^{\circ}\text{C}$ , температуру теплоносителя  $t_7 = 100^{\circ}\text{C}$ , тогда средняя температура изоляционного слоя  $t_{ср} = 60^{\circ}\text{C}$  [5]. Подставляя полученную температуру в данную зависимость для коэффициента теплоотдачи, получим  $\lambda_{из} = 0,2938 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ .

Для нахождения коэффициента теплоотдачи поверхности теплоизолированного теплопроводности воспользуемся следующей формулой [6]:

$$\alpha_{из} = 11,6 + 7 \omega; \quad (9)$$

где  $\omega$  – скорость воздуха.

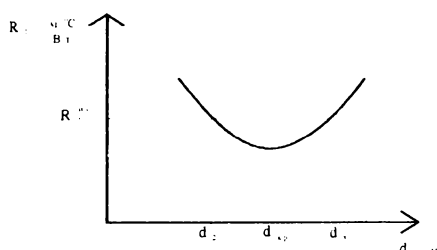


Рисунок. Зависимость наружного диаметра изоляции от термического сопротивления изоляционной оболочки

Пусть скорость воздуха для данных условий  $\omega = 0 \text{ м/с}$ , тогда коэффициент теплоотдачи изоляции  $\alpha_{из} = 11,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ . Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы в окружающий воздух примем равным  $\alpha_2 = 10 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ , что соответствует горизонтальным трубопроводам с покрытием с высоким коэффициентом излучения.

В зависимости от основных параметров теплоносителя и диаметра трубы получим следующие значения диаметра неэффективной изоляции из пеношамотных изделий, которые приведены в таблице.

Кроме того, расчеты проводились для таких видов изоляции, как маты минераловатные прошивные и пенобетонные изделия. В результате были получены данные о том, что нанесение слоя вышеуказанных видов изоляции любой толщины приведет к сокращению теплотерь.

Таблица

Диаметр неэффективной изоляции для различных параметров теплоносителя и диаметра трубы

№ п.п.	Температура теплоносителя, $t_7$ , $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура изоляционного слоя, $t_{ср}$ , $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент теплопроводности изоляции, $\lambda_{из}$ , $\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$	Наружный диаметр трубы $d_2$ , м	Приближенный диаметр неэффективной изоляции $d_{30}$ , м	Внешний диаметр неэффективной изоляции $d_3$ , м
1	100	60	0,2938	0,045	0,0563	0,1
2	100	60	0,2983	0,038	0,0633	0,115
3	150	80	0,2984	0,045	0,0579	0,103
4	150	80	0,2984	0,038	0,0649	0,118

Таким образом, результатом данного исследования являются следующие выводы:

Перед нанесением изоляции на трубопроводы кроме основных её свойств ( $\lambda_{из}$ ,  $\alpha_{из}$ ,  $t_{огр}$  – ограничение по температуре применения и др.) необходимо учесть некоторый диаметр неэффективной изоляции, при котором значение термического сопротивления теплопередаче выйдет на такую же величину, как и без изоляции, то есть при определенном диаметре могут наблюдаться такие же потери теплоты, как при отсутствии изоляции.

Современные теплоизоляционные материалы не имеют неэффективный диаметр, при котором могут наблюдаться такие же потери теплоты, как при отсутствии изоляции и при любой толщине работают на сокращение теплотерь.

При реконструкции участков трубопроводов необходимо следить за качеством тепловой изоляций имеющей место на старых участках сети, например, из пеношамотных материалов и не допускать достижения неэффективного диаметра, работающего на увеличение теплотерь.

#### Библиографический список

1. Михеев М.А. Основы теплопередачи: Изд. 2-е, перераб. М., Государственное энергетическое издательство. 1949. – 396 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Изд. 3-е перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1975. – 488 с.
3. Амосов А.А. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
4. Половко А.М., Бутусов П.Н. MATLAB для студента. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
5. Хижняков С.В. Практические расчеты тепловой изоляции: Изд. 3-е, перераб. М., «Энергия» 1976. – 200 с.
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Изд. 7-е стереотипное. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМПЛОЩАДКИ КАЧКАНАРСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

*Ю.И. ТОЛСТОВА, студ. Д.Е. ФУРМАНЕНКО*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Работа выполнялась по заданию предприятия с целью обоснования направлений снижения теплопотребления и платы за тепловую энергию, получаемую от ТЭЦ.

Источником теплоснабжения промплощадки является существующая Качканарская ТЭЦ, расположенная вблизи предприятия.

Система теплоснабжения обслуживает 55 объектов, в числе которых производственные цеха, мастерские, административно-бытовые корпуса. По данным предприятия общая тепловая нагрузка на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение составляет 155 МВт. Общая протяжённость теплотрассы около 11 км. Прокладка трубопроводов надземная на низких опорах и подземная в непроходных каналах. Подсоединение ответвлений предусмотрено в тепловых камерах.

Известно, что основным резервом горно-обогатительных предприятий являются вторичные энергоресурсы. Это отходящие газы процессов агломерации и обжига рудного концентрата. С целью экономии затрат на теплоснабжение на предприятии смонтированы 4 установки утилизации тепла (УУТ). Установки утилизации расположены на трактах дымососов агломашин и обжиговой машины и состоят из 4 чугунных экономайзеров типа ЭБ1-808И.

В холодный период года теплоснабжение осуществляется отдельно от двух источников – Качканарской ТЭЦ и УУТ. При этом УУТ обслуживают объекты аглофабрики, теплоснабжение остальных объектов – от Качканарской ТЭЦ.

В теплый период года теплоснабжение всех объектов промплощадки осуществляется от УУТ. Смена режима теплоснабжения производится путём переключения задвижек в тепловой камере на ответвлении к аглофабрике.

Прежде всего, необходимо было установить соответствие данных предприятия потребностям объектов и нормам теплопотребления. Так как здания были построены до 1985 г., расчёты выполнялись по удельным отопительным и вентиляционным характеристикам и нормам расхода горячей воды, приведённым в [1-3]. Также были использованы данные предприятия по строительным объёмам зданий. Было установлено, что потребность в тепловой энергии составляет 116 МВт. Снижение теплопотребления может быть достигнуто при наладке системы и замене тепловой изоляции трубопроводов.

В настоящее время тепловая изоляция выполнена из матов минераловатных и нуждается в реконструкции в соответствии с требованиями СНиП 41-03-2003 [4]. Выполненный расчёт показал, что для магистрального участка тепловой сети от ТЭЦ диаметром 720 мм требуется тепловая изоляция толщиной 100 мм.

Особенностью промплощадки Кач ГОК является резкопеременный рельеф местности, что создаёт проблемы для обеспечения безопасной работы системы теплоснабжения, обслуживающей объекты, расположенные на разных отметках по высоте.

Основные требования к режимам работы системы заключаются в выполнении условий заполнения систем отопления подсоединяемых объектов и прочности трубопроводов и оборудования [5].

В соответствии с рекомендациями СНиП 41-02-2003 [5] были рассчитаны следующие режимы работы тепловой сети: